

1. 서론

최근의 이상기후 현상과 국지성 호우로 매년 홍수에 의한 서울시의 침수 피해가 반복되고 있는 실정이다(그림 1) 참조). 이러한 홍수는 그 피해가 점차 대형화되고 있으며, 이와 더불어 급격한 도시화·집중화 현상에 따른 포장지표면의 확대로 빗물의 유출량이 하천의 우수수용한계를 넘어서 그 피해의 위험성이 커지고 있다.



그림 1) 2001년 침수피해

빗물이용을 통한 도시침수 저감 및 수돗물 절약방안

2

글 김갑수 _ 서울시정개발연구원 선임연구위원 / 양지희 _ 연구원



이제까지 내리는 빗물은 하수도를 통해 배제시키는 것에 치중하여 하천과 하수도를 개·보수하고 빗물배제용 펌프장을 건설하는데 막대한 비용을 소비하여 왔으나, 기상이변에 의한 집중호우와 도시개발에 의해 이러한 시설은 그 용량이 부족하게 되어 홍수피해는 점점 늘어가고 있어 근본적인 대책이 없다면 앞으로 그 피해는 더욱 심각해질 것으로 전망되고 있다.

따라서 물부족과 침수피해에 대처하기 위해서는 빗물을 모아 생활용수, 조경용수, 소방용수 등으로 이용할 수 있도록 처리하는 빗물이용이 수자원의 확보는 물론 홍수의 예방 방안으로 물부족 사태와 침수피해 방지에 강하게 대처할 수 있는 최적의 관리대책으로 인식되고 있다.

본 고에서는 매년 발생되고 있는 집중호우 및 태풍으로 인한 수해피해를 방지하고 빗물을 적극적으로 활용하여 치수와 이수 기능을 함으로써, 수돗물절약과 도시의 쾌적한 공간 구축의 활용 예를 제시하고자 한다.

2. 빗물이용의 개념

직접적인 개념의 빗물이용이란 그림 2)와 같이 주택 건물의 지붕이나 옥상, 테라스, 데크 등에서 빗물을 취수하여 이것을 지하 등에 설치된 저류조에 저장하여 화장실용 세정수나 살수 등의 잡용수로 이용하는 것을 말한다. 또한 빗물이용이란 홍수 방제 측면(치수대책)에서 빗물을 지하침투시켜 지역물순환시스템의 재생, 지반침하 방지, 정원에의 빗물 함양, 도시의 열섬화 방지 대책 등에 기여하는 것을 말한다.

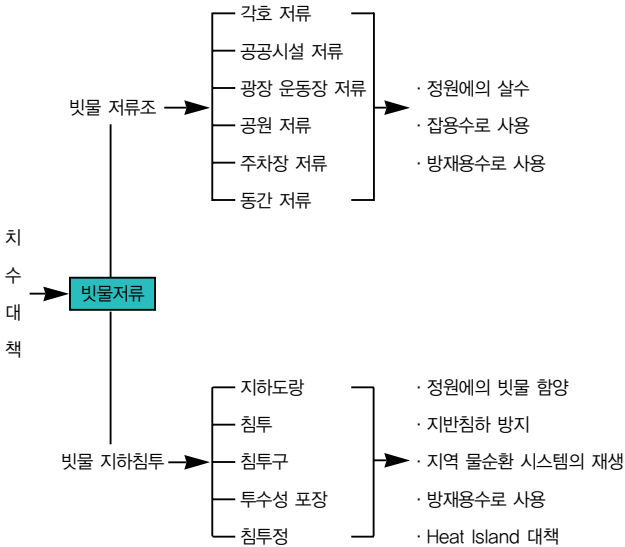


그림 2) 종합적 빗물이용 시스템

3. 빗물이용의 효과

빗물 이용의 효과는 그림 3)과 같이 크게 방재, 환경, 이수의 3 가지 측면으로 그 효과를 살펴볼 수 있으며, 방재적 측면의 효과는 다시 치수대책과 긴급비상시 대책으로 구분된다.

그림 4)는 빗물이용의 치수, 이수, 방재 효과를 개념도로 나타낸 것이다. 즉, 강우 전에 빗물저류조의 1/2밖에 물이 없다면, 용량의 1/2의 치수효과가 얻을 수 있는 이유이고, 또한, 저류조가 가득 차 있으면, 이수효과는 100%이고, 그 시점에서는, 방재효과도 100%이다. 한편, 만약 저류조가 가득 차 있다면 치수효과는 0%이며, 비어 있다면 치수효과는 100%이지만, 이수효과 및 방재효과는 0%이다. 즉, 저류조를 설치한다면 3가지의 효과를 기대할 수 있지만, 때로는 전혀 효과가 없는 경우가 있을 수 있다. 빗물이용시설을 설치할 때에 효과를 어디까지 생각하느냐가 설계 시 중요한 관점이다. 특히, 대규모 시설을 설치할 경우에는 각각의 효과마다 용량을 계산하여 최종적인 저류조의 크기를 정한다. 그러나 소규모의 경우 각각의 효과마다 저류조의 용량을

정해도 그다지 의미가 없다. 예를 들면, 2m³의 저류조에서 치수효과를 1/2로 보고 반을 언제나 비워 둔다고 효과적이지 않다는 뜻이다.

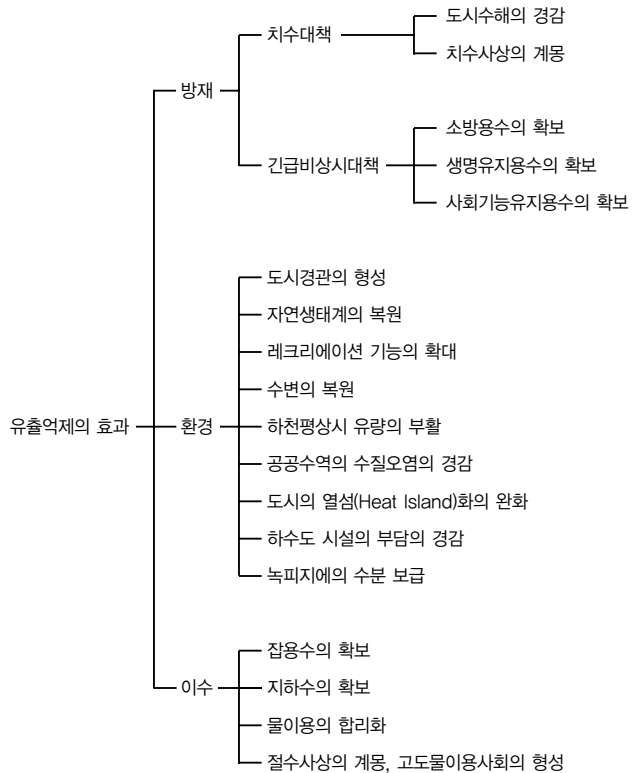


그림 3) 빗물이용의 효과

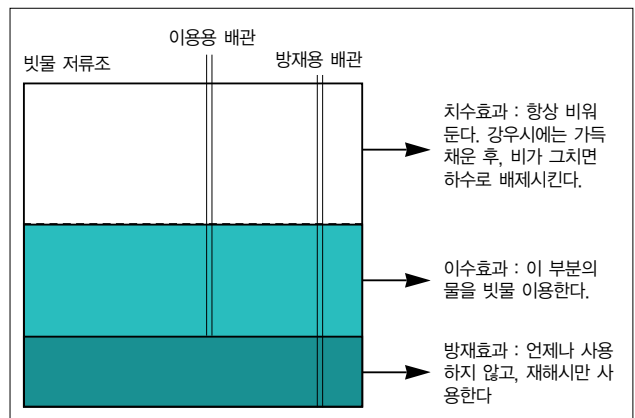


그림 4) 빗물이용의 효과개념도

(1) 방재적 측면

크게 치수대책과 긴급비상시대책으로 나눌 수 있다. 우선, 치수대책으로는 내리는 빗물을 한꺼번에 하수관거로 유입시키지 않고 빗물저류조에 임시 저류시킴으로써, 수많은 소규모 댐을 건설하는 것과 같은 효과를 나타낼 수 있다. 즉, 빗물이용시설의

설치로 도시형 홍수예방 및 도시수해의 경감이 가능하며, 긴급 비상시에는 소방용수, 생명유지용수 및 사회기능 유지용수 확보의 효과를 나타낸다. 이를 위해서는 빗물저류조의 50% 정도는 빗물을 저류시키지 않고 늘 비워둔다.

(2) 환경적 측면

도시 경관의 형성, 자연생태계 복원, 레크리에이션 기능의 확대, 수변의 복원, 하수도 시설의 부담 경감, 녹지에의 수분공급, 공공구역의 수질오염의 경감, 도시의 열섬화 완화 등의 효과를 나타낸다. 환경용수로 빗물을 활용하는 경우에 수돗물 절약과 함께 도시침수 예방효과도 나타낼 수 있다.

(3) 이수적 측면

이수측면의 효과로는 사용이 가능한 범위 내에서 수돗물을 대신하여 빗물을 사용함으로써 잡용수의 확보, 지하수의 확보, 합리적인 물이용 등을 통해 수돗물 사용의 절감효과를 나타낸다. 또한, 합리적인 물 사용으로 절수사상의 계몽, 고도물이용사회 형성의 효과를 나타낸다.

4. 빗물의 용도

빗물의 용도는 그림 5)와 같이 상수와 같은 수질을 필요로 하지 않고, 인체에 영향을 주지 않는 범위의 용도로 한정한다. 표 1)에는 빗물의 용도별 기능 및 기본적인 요건을 나타내었다. 특히, 빗물을 옥상녹화에 다른 조경용수로 사용할 경우, 단순한 빗물의 활용뿐만 아니라 단열효과, 흙이나 나무가 빗물을 흡수하는 현상에 의한 비의 유출억제효과, 일사의 영향에 의한 옥상 열화방지, 사람의 눈을 온화하게 하는 심리적 효과, 건축물의 라

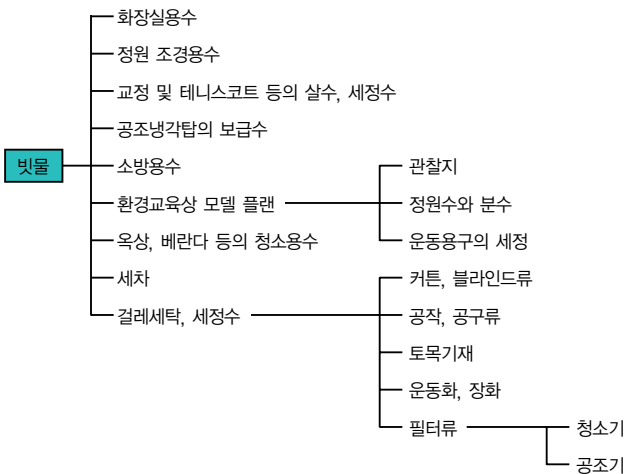


그림 5) 빗물의 용도

이프 사이클 비용을 저감시키는 효과까지 부차적으로 얻을 수 있다. 예를 들면, 일사량이 많은 여름철의 경우 열전도성이 높은 방수아스팔트와 콘크리트로 인해 빌딩 옥상의 표면온도가 60℃ 가까이 도달하는 것으로 조사되었다. 이때 지붕 위에 설치된 물 뿌리개 장치를 이용하여 저류된 빗물을 지붕에 뿌려 건물 내부의 기온을 25℃ 정도로 낮추는 용도로 사용하여 여름철 냉방에 따른 전력 사용량의 증가를 예방할 수도 있다.

5. 빗물저류조의 재질, 용량 및 수질

(1) 집수장소(집수면)

유효 집수면적과 집수면의 재질이 집수효율과 수질에 영향을 미친다. 집수면의 재질은 무독성이어야 하고 수질을 저하시키는 물질이 포함되어서는 안 된다. 빗물의 집수장소는 원칙적으로 빗물을 오염시키지 않는 지붕면으로 한다. 집수를 지붕면에서 하는 가장 큰 이유는 가능한 한 오염이 적은 빗물을 집수하여 빗물의 처리비용을 낮게 하기 위함이다. 예를 들어, 오염도가 높은 도로면에서 빗물을 집수할 경우, 처리 설비가 복잡하게 되고 처리비용이 상승하게 된다.

따라서 집수면에 페인트칠이나 코팅도 가능한 한 피해야 한다. 만약 페인트칠이나 코팅을 해야 한다면 무독성 페인트만을 사용해야 하며 납, 크롬, 아연을 원료로 한 페인트는 절대로 사용해서는 안 된다. 집수면은 주기적으로 청소하여 먼지나 낙엽, 새의 배설물 등을 제거함으로써 박테리아성 오염을 최소화하고 집수된 물의 수질을 좋게 유지해야 한다.

(2) 빗물연결관

빗물 연결관은 지붕 등 집수면에서 집수된 빗물을 저류조로 보낼 때 필요한 것이다. 이것은 한 개 또는 여러 개의 빗물받이 홈통을 연결하는 것으로, 빗물을 이동시키기 위한 연결관은 플라스틱, PVC 등의 불활성 물질로 만들어야 한다.

빗물연결관을 선택할 때 고려해야 할 점은 침전물 반이로 집수면의 찌꺼기가 저류조로 들어가는 것을 막기 위해 기울어진 통을 사용하거나 초기 빗물 배제장치를 설치하여 초기의 빗물이 빗물 저류탱크에 들어가지 않도록 하는 것이다.

(3) 빗물 저류조의 재질 및 용량

집수된 빗물의 저류조는 지상이나 지하에 설치되거나 건물의 일부부분으로 별도로 건설될 수도 있다. 일반적으로 빗물 저류조의 재질은 불활성물질로 철근 콘크리트, 유리섬유, 폴리에틸렌과 스테인리스 스틸이 그 재질로써 적당하다. 폴리에틸렌 저류조의

경우 세척이 쉽고 파이프 연결용 구멍을 만들기 쉽다.
 저류조 내에는 다른 환경적 오염물(낙엽, 새나 동물의 배설물, 곤충 등)이 들어가지 않도록 주의해야 한다. 또한 빗물 저류조는 주기적으로 점검 및 청소를 행하거나, 바닥을 경사지게 설계하여 침전물의 수집과 배제를 쉽게 할 수 있도록 한다.

빗물저류조의 크기는 보통 집수면적과의 관계에 의해 결정된다.

$$\text{빗물저류조의 용량(m}^3\text{)} = \text{집수면적(m}^2\text{)} \times \text{계수 C(m)}$$

이 식에서 계수 C는 빗물의 강우 형태의 차이 등 지역성을 고려한 수치가 될 수 있지만 과거의 실적 등에 의해 전국 어디에서도 같은 값을 사용한다. 일본의 경우 0.1로 정하고 있으며 우리나라

의 경우 수도법에서 C = 0.05로 규정하고 있다. 따라서 50평 단독주택의 경우 건폐율을 60%로 하면 건물면적이 30평으로 적합한 빗물저류조 크기를 계산하면, 30평 × 3.3 × 0.05m ≃ 5m³가 된다. 이 용량을 확보하면 집수면에 내린 빗물의 70% 정도를 유효하게 이용할 수 있다. 이처럼 유효하게 이용할 수 있는 비율을 빗물이용률이라 한다. 비가 내리지 않는 기간을 고려하여 실제 계산값보다 약 2배 크게 건설하는 것이 빗물 이용에 효과적이다.

그러나 빗물저류조의 크기가 커질수록 빗물 이용률이 증가하는 것은 아니다. 빗물저류조의 용량이 크면 월류되는 양이 줄어들게 되어 집수되는 양이 많게 되지만, 실제 빗물 이용률의 증가는 용량을 50% 증가시켜도 5~10%의 증가율만을 나타낸다. 결국, 빗물저류조는 용량이 크면 클수록 좋다고 말할 수는 없는 것이다. 특히 기존의 시설에서는 빗물저류조의 설치 장소를 확보하

구 분	기능	재이용에 요구되는 사항		
		심미적 사항	공중위생적 사항	기기·설비에 대한 사항
생 활 용	수세식 화장실 용수 오물을 운반하여 배제함	· 불쾌감이 없어야 함 · 청결감을 느낄 수 있어야 함	· 인체에 영향이 없어야 함 · 환경적으로 위생적이어야 함	· 장애가 없을 것
	청소 용수 대상물을 청결하게 함	· 사람이 직접할 경우 특히 청결해야 함	· 인체에 영향이 없어야 함 · 주변환경에 영향이 없어야 함	· 자동기일 경우 기기에 장애가 없어야 함
	세차 용수 차체의 오물을 씻어내고 깨끗이 함	· 사람이 직접 세차할 경우 청결해야 함 · 세차 후 차에 얼룩이 없어야 함	· 사람이 직접 세차할 경우 인체에 영향이 없어야 함	· 염류가 다량 함유되지 않을 것 · 녹슬지 않아야 하며 광택을 유지할 수 있어야 함
	살수 용수 화초, 수목에 수분을 공급하는 것	· 청결하면 좋음	· 인체에 영향이 없어야 함 · 노상살수, 화초 및 수목에 따라 수질에 차이가 있음	· 장애가 없을 것
공 업 용	냉각 용수 공조안의 온도를 냉방 또는 난방에 의해 쾌적한 환경으로 함	· 관계없음	· 관계없음	· 장애가 없을 것
환 경 용	연못, 분수 정신적, 육체적 휴식공간을 제공함	· 청결해야 함	· 금붕어가 서식할 수 있어야 함 · 피부접촉, 호흡에 대한 특별한 고려가 있어야 함 · 인체에 영향이 없어야 함 · 환경적으로 위생적이어야 함	· 장애를 일으키지 않아야 함
측정항목		수온, 투명도, 외관, 냄새, 탁도	대장균수, 일반세균, 잔류염소, 바이러스	BOD, SS, pH

표 1) 빗물의 용도별 기능 및 기본적인 요건

항목		직접	일반	처리	도로변	주차장	녹화면	녹화면	운동장
		집수	집수면	집수면			1	2	
pH	평균	5.6	6.9	7.1	7.4	7.8	7.8	6.5	6.9
	최소	4.8	6.6	6.9	7.2	7.7	7.3	6.2	6.2
	최대	6.6	7.3	7.5	7.6	7.8	8.1	6.8	7.7
전기전도도 (uS/cm)	평균	13.9	28.5	33.7	52.6	106.7	167.5	84.3	110.1
	최소	4.7	14.5	13.4	20.9	59.0	76.1	77.6	59.0
	최대	19.6	41.0	62.6	89.4	240.0	213.0	101.3	186.9
Turbidity (NTU)	평균	1.0	2.2	5.2	36.8	18.2	2.8	2.8	6.3
	최소	0.0	0.0	2.0	6.0	9.0	0.0	1.0	4.0
	최대	3.0	5.0	8.0	77.0	36.0	8.0	5.0	10.0
Color	평균	3.5	8.0	6.8	22.5	11.0	242.5	258.8	33.5
	최소	2.0	4.0	3.0	6.0	3.0	160.0	165.0	19.0
	최대	6.0	11.0	11.0	44.0	25.0	316.0	346.0	55.0
Fe(mg/l)	평균	0.02	0.02	0.02	0.06	0.05	0.06	0.12	0.05
	최소	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.04
	최대	0.03	0.03	0.03	0.12	0.14	0.22	0.20	0.06
Cu(mg/l)	평균	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.17	0.18	0.05
	최소	0.02	0.02	0.04	0.01	0.05	0.03	0.06	0.04
	최대	0.04	0.05	0.08	0.12	0.18	0.36	0.25	0.06
Zn(mg/l)	평균	0.09	0.08	0.12	0.08	0.09	0.14	0.17	0.06
	최소	0.05	0.06	0.07	0.05	0.06	0.07	0.06	0.05
	최대	0.14	0.10	0.18	0.12	0.15	0.26	0.36	0.09
Al(mg/l)	평균	0.12	0.10	0.08	0.12	0.18	0.07	0.18	0.07
	최소	0.01	0.03	0.02	0.06	0.09	0.05	0.09	0.02
	최대	0.29	0.16	0.17	0.19	0.39	0.11	0.27	0.18
T-N(mg/l)	평균	0.60	0.80	1.00	1.20	0.80	1.60	3.00	0.25
	최소	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00
	최대	1.00	1.00	3.00	3.00	2.00	4.00	4.00	1.00
T-P(mg/l)	평균	0.22	0.21	0.20	0.18	0.27	1.18	1.00	0.54
	최소	0.08	0.07	0.06	0.07	0.07	0.90	0.32	0.31
	최대	0.53	0.40	0.37	0.42	0.66	1.44	1.58	0.80
NO ₃ -N (mg/l)	평균	0.42	0.46	0.52	0.52	0.72	1.68	1.44	0.38
	최소	0.20	0.20	0.30	0.20	0.60	0.60	0.60	0.30
	최대	0.60	0.70	0.90	0.90	0.90	2.10	2.00	0.40
NH ₃ -N (mg/l)	평균	0.29	0.53	0.32	0.18	0.13	0.88	1.17	0.15
	최소	0.25	0.80	0.04	0.01	0.04	0.37	0.60	0.05
	최대	0.33	0.89	0.62	0.31	0.28	1.11	1.44	0.34
일반세균 (mL ⁻¹)	평균	145	351	328	430	223	341	271	473
	최소	10.0	92.0	103	201	43.0	224	194	233
	최대	342	896	813	578	344	459	449	846

* 직접집수: 직접 강우되는 우수를 수집
 일반집수면: 실제 건축물에 설치된 콘크리트 집수면 (방수처리)
 처리집수면: 위의 일반집수면 표면에 TiO2 광촉매층을 형성시킨 수처리 기능형 집수면
 도로변: 한국건설기술연구원 내 도로
 주차장: 한국건설기술연구원 내 노상 주차장
 녹화면1: 실제 건물 지붕에 설치한 녹화장치(수위실)
 녹화면2: 실제 건물 지붕에 설치한 녹화장치(본관)
 운동장: 한국건설기술연구원 내 잔디축구장

표 2) 빗물 집수장소에 따른 수질측정 결과 (n=5)

기 어려운 경우가 많기 때문에 가급적 앞의 식에서 계산한 적합한 빗물저류용량에 접근하도록 하여 부족분은 상수도에서 보충하도록 하는 것이 바람직하다.

(4) 빗물의 수질

빗물의 수질은 집수면의 특성과 관계가 깊다. 원래 깨끗한 빗물의 수질은 증류수의 수질과 비슷하다. 서울과 같은 도시의 경우 지상에서 배출된 유해가스와 집수면에 의해 빗물이 오염될 수 있으나, 초기빗물을 배제시킬 수 있는 장치를 설치하여 그 오염을 최소화 할 수 있다. 빗물의 수질은, 지역, 계절, 대기오염 상황 등에 의해 다르고, pH가 약간 산성을 나타내는 것이지만, 일반적으로 깨끗하다. 한국건설기술연구원에서 입수된 미공개자료로 여러 집수면으로부터 유출된 빗물을 채취하여 성상을 분석한 수질결과는 표 2)와 같다.

항목	기준
pH	5.8~8.5
Turbidity (NTU)	0.5NTU이하
Color	5도 이하
Fe (mg/l)	0.3mg/l 이하
Cu (mg/l)	1mg/l 이하
Zn (mg/l)	1mg/l 이하
Al (mg/l)	0.2mg/l 이하
NO ₃ -N (mg/l)	10mg/l 이하
NH ₃ -N (mg/l)	0.5mg/l 이하
일반세균(mL ⁻¹)	100CFU/ml 이하

* 상수도 통계연보(2002)

표 3) 먹는물 수질기준

6. 서울시 강우현황

기후특성상 여름철인 6~9월 사이에 장마가 발생하며 이 기간에 내리는 빗물은 총 빗물의 2/3 정도의 비율을 차지하여 연 강수량에 크게 영향을 미친다. 최근 이상기후 현상과 국지성 집중호우 양상으로 빗물이 내려 서울과 같은 밀집형 도시에 큰 홍수피해를 입히고 있다. 표 4)에서 알 수 있는 것처럼 서울시의 10년 평균 강수량은 1,445.7mm이며 6~9월에 1,069.5mm가 내려 전체 강수량의 74%가 이 기간에 집중되어 내리고 있다. 특히 1994년 및 1997년에 각각 49%, 50%의 강수량을 나타내었으나 다른 해에는 67.8~83.9%로서 연간 강수량의 2/3가 6~9월에 집중되는 것을 알 수 있다(그림 6) 참조.

月	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	평균
1월	2.2	6.5	11.6	16.3	16.8	10.4	10.2	42.8	39.4	37.4	19.4
2월	69.5	14.8	5.2	1	39.6	32.3	2.9	2.1	45.7	2.4	21.6
3월	29.2	31.7	60.6	77.9	25.3	45.1	55	3.1	18.1	31.5	37.8
4월	85.5	44.9	44.4	62	56.1	120.2	97.2	30.7	12.3	155.1	70.8
5월	135.7	152.4	60.6	29.3	291.3	121.5	109.7	75.2	16.5	58	105.0
6월	198.2	85	70.7	249.7	110	234.1	131.8	68.1	157.4	61.4	136.6
7월	424.4	139.5	436.1	512.8	299.6	311.8	230.4	114.7	698.4	220.6	338.8
8월	197.8	232.7	786.6	132.4	117.2	1237.8	600.5	599.4	252	688	484.4
9월	56.1	60.7	47.2	11	76.9	177.9	377.3	178.5	49.3	61.1	109.6
6~9월	876.5	517.9	1340.6	905.9	603.7	1961.6	1340	960.7	1157.1	1031.1	1069.5
합계	(67.8%)	(49.0%)	(83.9%)	(72.1%)	(50.0%)	(83.5%)	(77.3%)	(81%)	(83.5%)	(74.3%)	(74%)
10월	15.4	214.5	39.3	90.3	45.5	27.4	81.6	18.1	68.2	45	64.5
11월	66.6	49.6	32.9	62.9	93.8	26.9	19.5	27.1	13	12.5	40.5
12월	12.1	23.5	3.4	11	38.1	3.7	17	27	15.7	15	16.7
합계	1292.7	1055.8	1598.6	1256.6	1210.2	2349.1	1733.1	1186.8	1386	1388	1445.7
평균	107.7	88.0	133.2	104.7	100.9	195.8	144.4	98.9	115.5	115.7	120.5

* 강수량자료출처 : 기상청

표 4) '93~'02 서울시 강수량 (단위 : mm)

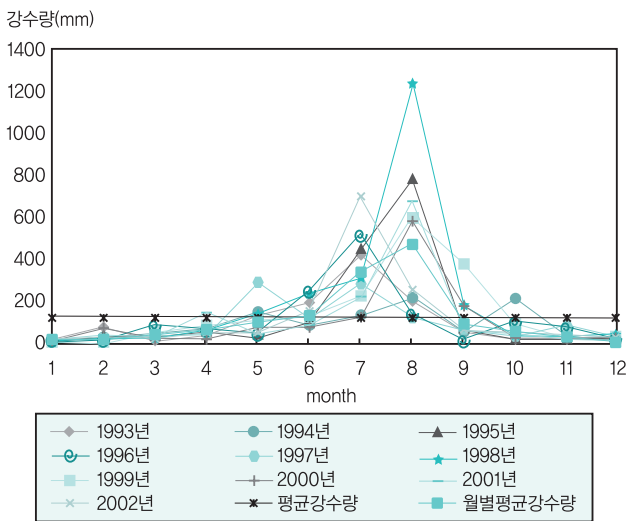


그림 6) 과거 10년(1993~2002년) 서울시 강수량 추이

7. 2001년 서울시 침수 원인 분석

2001년 7월의 단기간 집중호우에 의해 발생한 침수세대수는 총 81,288세대로, 정밀조사된 자료에서 침수원인을 분석하면 침수가 단일분야원인에서 발생한 경우는 33,079세대로서 총침수세대수의 40.7%를 차지하고 있으며 이에 대해 침수원인들이 복합

적으로 작용하여 침수된 지역은 48,191세대로서 59.3%로 나타나 상당 지역이 복합적인 침수원인에 의하여 침수피해를 입은 것으로 조사되었다.

단일분야원인에 의한 침수는 하천분야나 빗물펌프장분야의 원인에 의해서보다 하수관거원인에 의하여 침수가 발생하였으며

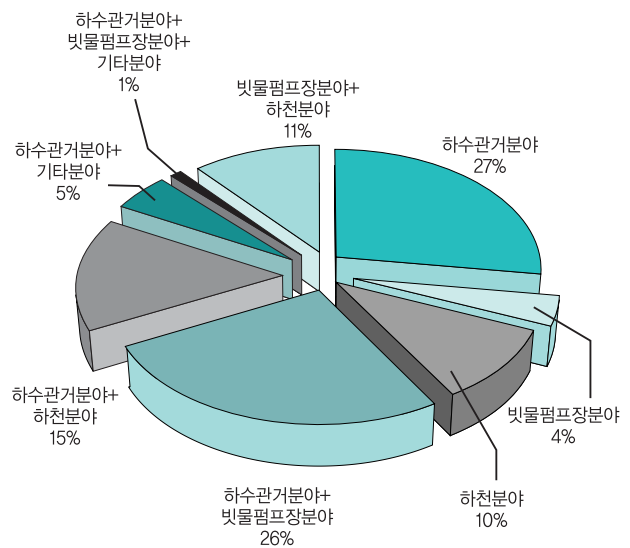


그림 7) 서울시 2001년 원인별 침수피해 현황

침수원인	침수세대수(세대수)	비율(%)
하수관거통수능부족	1,198	45.9
하수관거용량부족/펌프용량부족	965	36.9
하수관거경사불량 /고지대 노면수 저지대 유입	450	17.2
계	2,613	100

표 5) 2001년 청계천유역 침수원인 분석

	학교용지		공원(천㎡)		체육용지(㎡)	
	현황 (천㎡)	집수가능 용량 (천㎡)	현황 (천㎡)	집수가능 용량 (천㎡)	현황 (㎡)	집수가능 용량 (㎡)
서울 특별시	22,155	2,215	8,890	889	738,836	73,884
종로구	854	85	255	25	-	-
중구	388	38	308	30	97,352	9,735
용산구	507	50	32	3	485	49
성동구	825	82	77	7	-	-
광진구	1,027	102	643	64	-	-
동대문구	993	99	105	10	-	-
종량구	594	59	126	12	-	-
성북구	1,518	151	35	3	-	-
강북구	404	40	59	5	-	-
도봉구	589	58	94	9	-	-
노원구	2,414	241	620	61	-	-
은평구	484	48	56	5	5,104	510
서대문구	2,097	209	223	22	-	-
마포구	570	57	46	4	-	-
양천구	734	73	401	40	151,533	15,153
강서구	815	81	804	80	37,856	3,786
구로구	615	61	169	16	-	-
금천구	268	26	119	11	14,105	1,411
영등포구	503	50	149	14	-	-
동작구	943	94	495	49	1,714	171
관악구	897	89	220	22	9,498	950
서초구	796	79	594	59	-	-
강남구	1,426	142	1,100	110	6,908	691
송파구	1,206	120	1,588	158	414,280	41,428
강동구	688	68	572	57	-	-

표 7) 서울시 토지이용현황 및 빗물집수 가능용량 (2001)

구별	자치구 피해액 (천원)	침수피해(세대)			청계천유역 복개구간 피해액 (천원)
		자치구	복개구간	비율(%)	
종로구	426,214	549	450	82.0	349,495
강북구	152,123	464	256	55.2	83,972
성동구	1,319,953	1,958	942	48.1	634,897
동대문구	227,757	7,678	965	12.6	28,697
계	2,126,047	10,649	2,613	24.5	1,097,061

* 주 : 2001년 7월 14일~15일 호우기간 중

표 6) 청계천유역 해당지역의 홍수피해액

구분	구별	단독주택 ¹⁾ (단위:가구)	아파트 ²⁾	
			동 수	면적(㎡)
도심권(3)	종로구, 중구, 용산구	77,089 (10.8%)	498 (3.7%)	1,655,690 (3.4%)
	동대문구, 성동구, 광진구, 종량구, 성북구, 도봉구, 강북구, 노원구	249,132 (35.0%)	3887 (29.0%)	14,382,582 (29.9%)
서북권(3)	은평구, 서대문구, 마포구	111,638 (15.7%)	847 (6.3%)	2,362,297 (4.9%)
동남권(4)	서초구, 강남구, 송파구, 강동구	80,728 (11.3%)	4223 (31.6%)	16,463,141 (34.3%)
서남권(7)	강서구, 양천구, 영등포구, 구로구, 금천구, 관악구, 동작구	194,084 (27.2%)	3929 (29.4%)	13,207,285 (27.5%)
계	25개구	712,671 (100.0%)	13,384 (100.0%)	48,066,995 (100%)

* 주1) 통계청 (2001년 기준)

주2) 서울시정개발연구원 도시계획설계연구부 내부자료 (2003년 기준)

표 8) 서울시 아파트 및 단독주택 현황

복합원인에 의한 침수도 주로 하천분야원인이 아니라 빗물펌프장원인에 의하여 발생한 세대수가 큰 것으로 나타났다. 이와 같이 침수피해가 주로 내수배제시설과 관련하여 발생한 것을 알 수 있다.

8. 청계천 유역 침수 피해

표 5)에는 2001년 청계천 유역 침수요인을 나타낸 것이다. 하수관거 통수능 부족에 의한 원인이 45.9%로 가장 많은 부분을 차지했다. ‘2001 수해백서’에 의하면 2001년 7월 집중호우에 의

해 서울시 전역에 45,413세대가 침수피해를 입었으며 청계천유역의 침수현황을 각 자치구별로 주택, 공장 및 상가, 공공시설 및 기타침수 세대수로 구분하여 피해액과 함께 나타내면 표 6)과 같다.

9. 서울시 토지지목별 저류 가능용량

국지성 호우 등으로 인한 도시침수 현상을 방지하기 위해 학교용지, 공원, 체육용지 등에 내리는 빗물을 저류시설을 설치하여 10mm(C = 0.1)만을 집수한다고 가정하고 빗물의 저류 가능용량을 개략적으로 살펴보면 표 7)과 같다.

즉, 학교용지, 공원, 체육용지의 각각 저류용량은 2,215천³, 889천³, 73,884³로 정원용수, 청소용수 등의 빗물이용은 물론 도시침수 예방효과도 크게 기대할 수 있을 것이다.

10. 주택 종류별 빗물저류 가능용량

표 8)은 서울시 아파트 및 단독주택의 현황을 나타낸 것이며, 빗

물저류 시설을 아파트 및 단독주택 등에 설치할 경우 얼마만큼의 빗물저류 효과가 있는지 표 9)에 나타내었다. 이때, 아파트의 경우 개략적인 저류용량 산정을 위해 아파트 토지면적을 기준으로 건폐율을 적용하여 지붕면적으로 가정하고 여기에 계수 C를 곱하여 저류용량을 산정하였다. 이때, 계수 C는 일본의 기준인 0.1(10mm)로 하였다. 한편, 단독주택은 전술한 것처럼 대지 50평의 단독주택은 건폐율 60%인 경우 5³으로 산출되었지만, 각 가정에 1³의 저류탱크를 설치하였을 경우 얼마만큼의 상수사용량 및 상수도요금의 절감 효과를 가져올 수 있는지에 대하여 검토하였다. 그 결과, 표 9)에서 알 수 있듯이 단독주택의 경우에는 712,671³의 빗물저류가 가능한 것으로 나타났으며, 아파트의 경우 건폐율 20%, 25%, 30%에 따라 각각 961,421³, 1,201,800³, 1,442,161³의 빗물 저류가 가능하며, 한편, 단독주택 및 아파트에서 1년중 갈수기를 제외한 180일 정도 빗물을 정원용수, 청소용수 등으로 사용하는 경우 적게는 301,3367천³에서 많게는 387,870천³의 수돗물 절약을 기대할 수 있다.

구분	구별	저류가능용량(㎥) 단독주택 ¹⁾	아파트 ²⁾			단독주택 + 아파트 절감상수요금 (천원)
			건폐율	집수면적	집수면적 × C ³⁾	
도심권(3)	종로구, 중구, 용산구	77,089(10.8%)	20%	331,138	33,114	39,532
			25%	413,923	41,392	42,501
			30%	496,707	49,671	45,471
동북권(8)	동대문구, 성동구, 광진구, 중랑구, 성북구, 도봉구, 강북구, 노원구	249,132(35.0%)	20%	2,876,516	287,652	192,555
			25%	3,595,646	359,565	218,351
			30%	4,314,775	431,478	244,148
서북권(3)	은평구, 서대문구, 마포구	111,638(15.7%)	20%	472,459	47,246	56,994
			25%	590,574	59,057	61,231
			30%	708,689	70,869	65,468
동남권(4)	서초구, 강남구, 송파구, 강동구	80,728(11.3%)	20%	3,292,628	329,263	147,071
			25%	4,115,785	411,579	176,600
			30%	4,938,942	493,894	206,128
서남권(7)	강서구, 양천구, 영등포구, 구로구, 금천구, 관악구, 동작구	194,084(27.2%)	20%	2,641,457	264,146	164,375
			25%	3,302,071	330,207	188,073
			30%	3,962,486	396,249	211,748
계	25개구	712,671(100.0%)	20%	53,688,759	961,421	600,527

* 주1) 통계청 (2001년 기준)
 주2) 서울시정개발연구원 도시계획설계연구부 내부자료 (2003년 기준)
 주3) C = 0.1m
 주4) 가정용 급수단가 358.72원/㎥(서울시 상수도통계연보, 2003)

표 9) 서울시 아파트 및 단독주택 빗물저류 가능용량(㎥)

11. 학교 빗물저류 가능용량

각 학교에 지붕면적을 10m×20m, C = 0.1로 가정하여 20m³ 규모의 빗물 저류시설을 설치할 경우 초등학교는 11,000m³, 중학교는 7,160m³, 고등학교는 5,680m³의 빗물을 저류하여 사용할 수 있는 것을 알 수 있다. 초·중·고등학교의 이용 가능용량을 합쳐보면 표 10)에서 알 수 있는 것처럼 23,840m³으로 20m³ 모두를 하루에 사용한다고 생각하면 155,279천원/일(업무용 급수 단가 651.34원/m³)의 상수요금을 절약할 수 있다.

만일, 학교에서 빗물을 화장실용수로 학생 1인당 사용량을 10ℓ로 가정하고 방학 및 갈수기를 제외한 180일을 사용기간으로 하는 경우 1800ℓ/인·일×1,485,023명 = 267,304만ℓ/일이 된다. 즉, 빗물이용에 따른 1년간 수도물 절약 및 상수요금은 각각 2,673천m³과 17.4억원이다.

한편, 학교시설의 빗물저류시설 설치에 따른 학교주변 저지대의 침수예방에도 상당한 효과가 있을 것으로 기대된다.

구분	빗물이용 가능용량
초등학교	550개교 × 20m³ = 11,000m³
중학교	358개교 × 20m³ = 7,160m³
고등학교	284개교 × 20m³ = 5,680m³
합계	23,840m³
일반세균(mℓ ⁻¹)	100 CFU/mℓ 이하

* 서울특별시 교육청 통계자료 (2003)
주1) 고등학교는 일반계고등학교와 실업계 고등학교만을 합친 것 (특수학교 등 제외)

표 10) 서울시 초·중·고등학교 빗물이용 가능용량

- ① 빗물 저류조 용량기준 : 지붕면적(m²)×0.05m(수도법과 동일)
- ② 공공부분 : 시 및 자치구에서 시행하는 공공 건축물 모두
- ③ 서울시 심의대상 : 연면적 3만m²인 다중이용건축물 또는 16층 이상 건축물(공동주택 포함)
- ④ 자치구 심의대상 : 연면적 5천m²인 다중이용건축물

* 다중이용건축물이란?

문화 및 집회시설(전시장, 동·식물원 제외), 판매·영업시설, 종합병원, 관광 숙박시설

⑤ 확대적용 대상

- 대형필지 개발사업 : 대지면적 5천m² 이상의 학교, 공원, 주차장, 광장(지하시설 제외)
- 물사용량이 많은 대형건축물 : 대지면적 2천m² 이상으로 연면적 3천m² 이상의 건축물
- 건축심의 대상이 아닌 소규모 건축물(연면적 5천m² 이하)은 건축허가시 빗물 저류조를 설치하도록 권장하되, 설치 공사비 보조 및 수도요금 감면 등 인센티브를 부여하여 자발적 설치를 유도한다.

설치공사비 보조	철근 콘크리트 저류조(10m³ 이상)	500만원 정도
	FRP, 스테인레스, 고밀도폴리에틸렌제 등 중규모 저류조(1m³~10m³)	1m³당 20만원 한도액 200만원
	FRP제 등 소규모 저류조(1m³ 미만)	20만원 정도
수도요금 감면	저류조 설치한 경우	사용수량의 50% 정도 감면
	(수도조례 : 공익상 필요한 경우 감면가능, 자치단체장 방침으로 시행)	

표 11) 설치공사비 보조 및 수도요금 감면

12. 결론

현재는 빗물이용을 의무화하기 위한 법적 기준이 대규모 체육시설(지붕면적 2,400m², 관람석수 1,400석 이상)에만 한정되어 있어, 실제적인 빗물이용에는 유효하지 않다. 또한 빗물에 직접 관련된 법적 수질 기준 및 기술적·행정적인 관리체계가 마련되지 않아 빗물이용의 장려를 위한 제도적, 기술적, 행정적 방안이 마련되어야 한다.

(1) 빗물이용 장려를 위한 제도적 방안

빗물이용 장려를 위해 사업승인을 포함한 건축허가시 심의조건을 부여하여 빗물저류조 설치를 권장하여 이를 반영한 것만을 건축허가 하도록 한다. 도시관리계획결정(뉴타운 계획, 도심부 관리계획, 지구단위계획구역 수립) 등 계획 수립시 빗물저류조 설치대상 및 설치기준을 강화하여 별도로 정할 수 있도록 한다.

장기적 대책으로 관계법령을 개정하여 건축물의 설비기준 등에 빗물저류조 설치대상 건축물 규정을 신설하여 지자체 건축심의 대상으로 한다. 또한 자연재해대책법(건축법부령, 건설교통부)으로 공공시설물인 공원, 주차장, 학교운동장 등 빗물 저류조 설치 규정을 신설한다. 민간 건축물 설치비 지원 방안에 대해서는 자연재해 대책법 시행규칙(행자부령) 기금의 사용범위의 개정을 통해 “재해재난대책기금”을 사용하여 연면적 5천m² 미만인 소형 민간건축물에 대하여 저류조 및 탱크의 비용 및 설치 공사비를 일부 지원한다.

(2) 빗물이용 장려를 위한 기술적 방안

① 직결급수

연차적으로 서울시에 수돗물 직결급수가 추진될 경우, 현재 사용하고 있는 물탱크는 불용화된다. 이때, 불용화되는 물탱크를 빗물저류시설로 재활용하여 빗물이용을 확대시킬 수 있다. 즉, 직결급수 도입에 의해 불용화된 물탱크를 빗물 저류시설로 이용하는 경우, 옥상에 설치된 경우에는 옥상녹화가 되어 있는 건물에서는 정원용수로 활용이 가능하며, 지하에 설치된 저수조의 경우에는 홍수방재 및 이수적 활용이 가능하므로, 불용화된 저수조를 정원용수, 살수용수, 청소용수 및 인공실개천 조성 등에 활용하는 조례제정이 필요하다. 즉, 서울시의 수돗물 직결급수 추진과 동시에 불용화된 옥상탱크 및 지하저수조의 홍수피해저감 및 빗물이용을 확대시키는 조례제정 방안이 필요하다.

② 불용정화조

기존의 분류식 관거 정비지역에서 하수관거 정비에 의해 지하에 매설되어 있는 불용정화조를 철거시키지 않고 빗물 저류조로 활용하는 방안의 모색이 필요하다. 빗물이용을 위해 새로운 빗물 저류조를 설치하지 않고, 기존의 매설된 정화조를 활용하여 저류된 빗물을 살수용수, 정원용수, 청소용수 및 실개천 용수로 활용한다. 빗물 저류조로 사용하기 위한 불용 정화조의 청소 및 배관 연결에 소요되는 공사비(50만원 정도)를 보조하여 경제적 부담을 해소하여 시민들의 참여를 적극적으로 유도한다.

그러나 불용정화조를 빗물저류시설로 재활용할 경우, 정화조의 열화, 지면에 대한 부력 등의 문제가 있다. 그러나 정화조의 열화의 경우, 노후화된 정화조는 열화에 의해 다소의 크랙이 발생할 수 있지만, 전체적으로 부숩버릴 것은 없다. 오히려, 정화조 본체보다도 지표에 나와 있는 덮개의 부분이 열화되기 쉽고, 갈라지고 떨어져 버릴 위험이 있기 때문에, 정기적인 덮개의 교환 등이 필요하다. 한편, 부력의 문제는 정화조를 신설하는 경우, 주변의 지반이 안정되기 전에 호우 등이 발생한다면 부력에 의해 정화조가 뜨겠지만, 기설의 정화조에는 주변지반이 안정되어 있으며, 정화조 본체에는 부상 방지판이 붙어 있기 때문에 부상하지 않으며, 현재까지 부상된 사례는 없다.

(3) 빗물이용 장려를 위한 행정적 방안

빗물이용 활성화를 위해 무엇보다 시민들이 거부감 없이 빗물을 활용할 수 있도록 하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 시민단체와 언론매체들을 통해 빗물이용의 필요성을 대중화시키는 것뿐만 아니라, 공공 기관 및 교육청과의 협력을 통해 초·중·고등학교 교육기관을 이용한 빗물이용 시설 설치가 필요하다. 또한, 지속적인 빗물이용시설의 관리와 제도의 효과적인 활용 및 시설

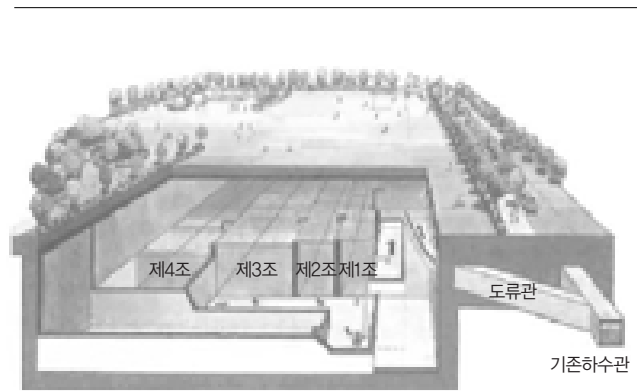


그림 8) 일본 오사카 공원내 빗물 저류지 단면도

의 향후 유지관리 감시는 물론 빗물이용시설의 여러 제반 사항과 빗물이용 시설을 적극 홍보할 수 있는 담당부서의 신설이 필요하다.

(4) 빗물저류시설 제안

서울시는 2001년 집중호우로 인한 침수로 엄청난 인명과 재산상의 피해를 입었다. 하수관용량을 늘리는 것만으로는 침수피해 예방에 한계가 있다. 따라서 현재 서울시 모든 지역에 중장기적인 홍수피해 방지를 위한 공원, 운동장 등을 활용한 저류 및 침투시설의 설치가 필요하며, 우선적으로 현재 복원 공사 중인 청계천 빗물저류·침투시설 설치 필요성과 저류조 용량을 제시하고자 한다.

2005년 9월 완공목표로 청계천 복원공사가 한창 진행되고 있다. 청계천복원에 따른 시민의 침수공간 조성도 중요하지만 인명 및 재산의 피해를 막기 위해서는 홍수예방이 무엇보다 중요한 시점이다. 따라서 2001년 7월 홍수에 대비하기 위해서는 약 36만 m^3 이 필요한 것으로 청계천 복원타당성 조사 및 기본계획(환경정비부분 2003. 6)에서는 밝히고 있다.

청계천변 개발 시에는 각 건축물에 필히 빗물저류시설을 설치하여 홍수피해 저감, 열섬화 방지 및 정원용수 등의 빗물이용이 필요하다. 한편, 각 건축물에 설치되는 저류조로서는 용량이 적어 홍수예방에는 한계가 있기 때문에 그림 8)과 같은 시설이 동대문운동장 및 미공병단부지 126,420 m^2 에 지하 1층 높이 3m 깊이의 약 38만 m^3 의 저류시설 설치가 필히 조성되어야 200년 빈도 이상에 대비한 홍수피해를 예방할 수 있을 것으로 판단된다. ㉞